

การศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางพาราเหลือใช้
จากอุตสาหกรรมโดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟ



ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางพาราเหลือใช้จาก
อุตสาหกรรมโดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟ



ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF ACTIVATED CARBON PRODUCTION FROM INDUSTRIAL WASTE
RUBBER WOOD CHAR BY MICROWAVE HEATING



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง การศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางพาราเหลือใช้จาก
อุตสาหกรรมโดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟ

โดย นายกรวิชัย มณียศ รหัสนักศึกษา 57010021

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ณัฐพล ฤกษ์เกษมสันต์

ปริญญาานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผศ.ดร.ณัฐพล ฤกษ์เกษมสันต์)

.....กรรมการ

(ดร. รัชนนต์ สมานมุลย์)

.....กรรมการ

(ดร.ภัทรานิษฐ์ วงศ์พร้อมรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อเรื่อง การศึกษากระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางพาราเหลือใช้จาก
อุตสาหกรรมโดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟ

โดย นายกรวิษณุ มณียศ

รหัสนักศึกษา 57010021

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา 2560

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ณัฐพล ฤกษ์เกษมสันต์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการกระตุ้นด้วยไอน้ำของถ่านไม้ยางพาราเหลือใช้จากอุตสาหกรรมโดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟ เราจะปรับปรุงถ่านไม้ยางพาราให้เป็นถ่านกัมมันต์ โดยได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะการกระตุ้น ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างไอน้ำกับชีวมวล (S/B) กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ และเวลา เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงและการผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางพาราเหลือใช้จากอุตสาหกรรม โดยการทดลองจะทำการปรับอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) คือ 8 : 5 12 : 5 และ 16 : 5 ที่เวลา 15 30 และ 60 นาที ผลการทดลองจากการผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางเหลือใช้จากอุตสาหกรรมจะถูกนำไปวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีนตามมาตรฐาน ASTM D4607-94 พบว่าถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 16 : 5 ที่เวลา 60 นาที มีค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 549.94 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับผลการทดลองค่าอื่นๆ

Title	Study of Activated Carbon Production from Bagasse and Industrial Waste Rubber Wood Char
By	Mr.Korawit Maneeyot
Student ID	57010021
Degree	Bachelor of Engineering
Field of Study	Chemical Engineering
Year	2017
Advisor	Asst. Prof. Dr. Nuttapol Lerkkasemsan

Abstract

This study investigates the steam gasification reaction of industrial waste rubber wood char using microwave heating, this study will improve industrial waste rubber wood char as activated carbon. The study on the factors affecting the activation, including steam to biomass ratio (S/B) microwave power and time, to optimum conditions for product development of activated carbon from industrial waste rubber wood char. The experiment was forecasted water on charcoal (S/B) was 8 : 5, 12 : 5 and 16 : 5 at time and 15, 30 and 60 minutes. The results from the production of activated carbon from industrial waste rubber wood char will be taken to determine the analysis of iodine absorption by the standard ASTM D4607-94. It found that the activated carbon activated by the ratio of water to carbon (S/B) is 16 : 5 at 60 minutes. The iodine adsorption of 549.94 mg / g Which is the maximum values when compared with the experimental results the other.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ณัฐพล ฤกษ์เกษมสันต์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ความเอาใจใส่ ให้คำชี้แนะ คำปรึกษาในงานวิจัยและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ข้าพเจ้า ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่าน และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ดร.ธัชชนันต์ สมานมุลย์ และดร.ภัทรานิษฐ์ วงศ์พร้อมรัตน์ กรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุกๆรายวิชาที่ศึกษา เพื่อเป็นพื้นฐานและคำแนะนำต่างๆอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทางานวิจัยให้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ คุณพิมพ์ใจ ภูชนะกิจและคุณเอกราช บำรุงไทยชัยชาญ ที่คอยให้คำแนะนำ คำปรึกษาและช่วยเหลือตลอดระยะเวลาที่ได้ทำงานวิจัยตลอดมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดาและครอบครัวอันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรัก กำลังใจที่ดีและคอยสนับสนุนมาโดยตลอดจนทำให้มีวันนี้ได้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

หากมีข้อผิดพลาดประการใดในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำโครงการวิจัยขอน้อมรับและขอภัยไว้ ณ ที่นี้

กรวิชญ์ มณียศ

สัญลักษณ์

<i>A</i>	น้ำหนักทั้งหมดของไอโอดีนในสารละลายเริ่มต้นจำนวน 100 มิลลิลิตร ($N_2 \times 12693.0$) (มิลลิกรัม)
<i>B</i>	น้ำหนักทั้งหมดของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ปริมาตร 1 ลิตร ($N_1 \times 126.93$) (กรัมต่อลิตร)
<i>DF</i>	ค่าแฟกเตอร์การเจือจาง (dilution factor)
<i>F</i>	ปริมาณสารละลายที่กรอง (มิลลิลิตร)
<i>H</i>	ปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล (มิลลิลิตร)
<i>I</i>	ปริมาณสารละลายไอโอดีน (มิลลิลิตร)
<i>M</i>	น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ (กรัม)
N_1	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มอล)
N_2	ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มอล)
<i>S</i>	ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)
$\frac{X}{M}$	ค่าการดูดซับไอโอดีนต่อน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สัญลักษณ์.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญรูป.....	VII
สารบัญตาราง.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตโครงการ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 การผลิตถ่านกัมมันต์.....	3
2.2 การกระตุ้นด้วยไอน้ำ (STEAM ACTIVATION).....	4
2.3 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์.....	6
2.4 การให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ (MICROWAVE HEATING).....	7
2.5 ค่าการดูดซับไอโอดีน (IODINE NUMBER).....	8
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
บทที่ 3 ขั้นตอนการทดลอง.....	12
3.1 ขั้นตอนการเตรียมถ่าน.....	12
3.2 ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย.....	13
3.3 ขั้นตอนการกระตุ้นถ่าน.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	17
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	19
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	23
เอกสารอ้างอิง	24
ภาคผนวก	27
ภาคผนวก ก.....	28
ภาคผนวก ข.....	32



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์.....	3
2.2 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์.....	6
2.3 วิธีการให้ความร้อน (a) การให้ความร้อนตามปกติ (CONVECTIONAL HEATING) (b) การให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ (MICROWAVE HEATING) (c) การให้ความร้อนแบบไฮบริด (HYBRID HEATING).....	7
2.4 อันตรกิริยาระหว่างไมโครเวฟและวัสดุ (a)การส่องผ่าน (b)การสะท้อน (c)การดูดกลืน.....	8
3.1 การกระตุ้นถ่านด้วยไอน้ำโดยความร้อนจากไมโครเวฟ.....	17
3.2 แผนผังขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน.....	18
4.1 กราฟแสดงค่าการดูดซับไอโอดีนของแต่ละตัวอย่างจากการทดลอง.....	20

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ค่าไอโอดีนของแต่ละตัวอย่างจากการทดลอง.....	19
4.2 การเปรียบเทียบค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางเหลือใช้ กับถ่านกัมมันต์ชนิดอื่นๆ.....	21
4.3 การเปรียบเทียบค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางเหลือใช้กับถ่าน กัมมันต์ชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ไมโครเวฟในการกระตุ้น.....	21
ก.1 ปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาค่ามาตรฐาน ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต.....	28
ก.2 ปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาค่ามาตรฐาน ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน.....	28
ก.3 ปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาค่าการดูดซับ ไอโอดีนของถ่านไม้ยางพาราที่ยังไม่ได้กระตุ้น.....	29
ก.4 ปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาค่าการดูดซับไอโอดีนของ ถ่านไม้ยางพาราที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 8 : 5 โดยใช้เวลา 15 นาที.....	29
ก.5 ปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาค่าการดูดซับไอโอดีนของ ถ่านไม้ยางพาราที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 8 : 5 โดยใช้เวลา 30 นาที.....	29
ก.6 ปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาค่าการดูดซับไอโอดีนของ ถ่านไม้ยางพาราที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 8 : 5 โดยใช้เวลา 60 นาที.....	30
ก.7 ปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาค่าการดูดซับไอโอดีนของ ถ่านไม้ยางพาราที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 12 : 5 โดยใช้เวลา 15 นาที.....	30
ก.8 ปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาค่าการดูดซับไอโอดีนของ ถ่านไม้ยางพาราที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 12 : 5 โดยใช้เวลา 30 นาที.....	30
ก.9 ปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาค่าการดูดซับไอโอดีนของ ถ่านไม้ยางพาราที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 12 : 5 โดยใช้เวลา 60 นาที.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

หน้า

- ก.10 ปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการหาค่าการดูดซับไอโอดีนของ ถ่านไม้ยางพาราที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 16 : 5 โดยใช้เวลา 15 นาที.....31
- ก.11 ปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการหาค่าการดูดซับไอโอดีนของ ถ่านไม้ยางพาราที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 16 : 5 โดยใช้เวลา 30 นาที.....31
- ก.12 ปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการหาค่าการดูดซับไอโอดีนของ ถ่านไม้ยางพาราที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 16 : 5 โดยใช้เวลา 60 นาที.....31



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IX อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ถ่านกัมมันต์ (ACTIVATED CHARCOAL หรือ ACTIVATED CARBON) โดยทั่วไปเป็นวัสดุที่ประกอบด้วย คาร์บอนที่ได้จากถ่านเป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวสูงมากเพราะว่ามีรูเล็กๆ (CAVERNOUS PORES) จำนวนมาก และสามารถเพิ่มค่าการดูดซับได้ ถ่านกัมมันต์สามารถนำไปใช้ได้หลายอุตสาหกรรม ตัวอย่างของกลุ่มสินค้าที่มีการใช้ถ่านกัมมันต์เป็นองค์ประกอบหนึ่งของกระบวนการผลิตซึ่งมีแนวโน้มว่าจะมีอัตราการขยายตัวสูงขึ้นส่งผลให้มีความต้องการถ่านกัมมันต์ขยายตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เช่น กลุ่มอุตสาหกรรมเครื่องกรองอากาศหรือหน้ากากป้องกันกาพิษ กลุ่มอุตสาหกรรมน้ำดื่มและน้ำประปา กลุ่มโรงงานชุบโลหะ กลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร ฯลฯ [1]

ในปัจจุบันในประเทศไทยมีการปลูกไม้ยางพาราเพิ่มมากขึ้น แนวโน้มพื้นที่ปลูกยางนั้นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยปลูกมากที่สุดที่ภาคใต้ รองลงมา ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ต้นยางมีอายุระหว่าง 19 - 22 ปี ซึ่งแสดงว่าอายุกรีตจริงอยู่ระหว่าง 13 - 16 ปี หลังจากนั้นจะต้องตัดทิ้งทำให้ปริมาณไม้ยางพาราเหลือใช้เป็นจำนวนมาก [3,4] ทางอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะนำไม้ยางไปเป็นเชิงเพลิง โดยการนำไปเผาเพื่อให้เกิดพลังงานความร้อน ด้วยเหตุผลนี้เราจึงเห็นได้ว่ามีถ่านไม้ยางเหลือใช้จากอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก เราจึงเล็งเห็นว่าถ่านที่เหลือใช้จากอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากสามารถนำมาเพิ่มมูลค่าได้ โดยการนำถ่านเหลือใช้จากอุตสาหกรรมมาทำให้กลายเป็นถ่านกัมมันต์ด้วยการกระตุ้น

ในการกระตุ้นแบ่งตามชนิดการกระตุ้นออกเป็น 2 วิธี คือ (1) การกระตุ้นทางเคมี (CHEMICAL ACTIVATION) โดยจะใช้สารเคมีผสมเข้ากับวัสดุเริ่มต้นเพื่อที่จะกัดสารอินทรีย์ต่างๆ (CAUTERIZATION) ออกจากรูเล็กๆ เมื่อทำการกระตุ้นแล้วจะต้องล้างสารเคมีออกจนหมด และ (2) การกระตุ้นทางกายภาพ (PHYSICAL ACTIVATION) เป็นการเพิ่มปริมาตรรูพรุนและพื้นที่ผิวโดยปฏิกิริยาแปลงเป็นแก๊สด้วยแก๊สออกซิไดซ์ เพื่อให้ได้พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์และความจุการดูดซับที่สูงขึ้นซึ่งแสดงโดยเลขไอโอดีน

เนื่องจากการกระตุ้นโดยใช้เตาเผาทั่วไปค่อนข้างจะใช้เวลานานในช่วงแรกในการเพิ่มอุณหภูมิให้ถึงอุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น เราจึงใช้คลื่นไมโครเวฟในการให้ความร้อนแทนเตาเผาเนื่องจากไมโครเวฟนั้นสามารถให้ความร้อนที่สูงภายในระยะเวลาที่สั้นกว่า

ในตอนนี้อไมโครเวฟถูกใช้ในด้านเทคโนโลยีและวิทยาศาสตร์ต่างๆ เพื่อให้ความร้อนวัสดุได้อิเล็กทริก ประโยชน์หลักของการใช้ความร้อนจากไมโครเวฟคือว่าเวลาในการรักษาจะลดลงอย่างมากซึ่งในหลายกรณีแสดงให้เห็นถึงการลดลงของการใช้พลังงานได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้เตาไมโครเวฟสามารถแก้ปัญหาเกี่ยวข้องกับความร้อนที่พื้นผิว เพราะความร้อนจากไมโครเวฟเป็นทั้งความร้อนภายในและเชิงปริมาตร ดังนั้นการไล่ระดับความร้อนอย่างมากจากการภายในของอนุภาคถ่านไปยังพื้นผิวที่เย็นช่วยให้ปฏิกิริยาไมโครเวฟเหนี่ยวนำให้เกิดการดำเนินการได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีผลในการประหยัดพลังงานและการลดเวลาการดำเนินการ [2]

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาและวิเคราะห์ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการกระตุ้นด้วยไอน้ำในการผลิตถ่านกัมมันต์ด้วยความร้อนจากไมโครเวฟ

1.2.2 เพื่อปรับปรุงคุณภาพของถ่านไม้ยางพาราเหลือใช้จากอุตสาหกรรม และลดเวลาในการกระตุ้นกับการใช้แก๊สเฉื่อยเป็นตัวพา

1.3.3 ตรวจสอบค่าการดูดซับไอโอดีน เพื่อหาพื้นที่ผิวของรูพรุนในการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางพาราเหลือใช้จากอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตโครงการงาน

1.3.1 ถ่านที่นำมาศึกษาคือถ่านไม้ยางพาราเหลือใช้จากอุตสาหกรรม

1.3.2 ศึกษาตัวแปรที่มีผลในการกระตุ้นด้วยไอน้ำโดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟ เพื่อให้พื้นที่ผิวรูพรุนมากขึ้น ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการผลิตถ่านกัมมันต์ เช่น สารกระตุ้น กำลังไฟของไมโครเวฟ (MICROWAVE POWER) เวลาในการกระตุ้น ค่าการดูดซับไอโอดีน (IODINE NUMBER) ตัวแปรที่ได้ศึกษาได้แก่ สัดส่วน ไอน้ำต่อถ่าน (S/B) ค่าการดูดซับไอโอดีน (IODINE NUMBER) และเวลา (นาท)

1.3.3 ทำการหาค่าไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ในแต่ละสภาวะตามการทดลอง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เข้าใจในหลักการในการกระตุ้นถ่านไม้ยางพาราเหลือใช้จากอุตสาหกรรมด้วยไอน้ำโดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟ

1.4.2 สามารถนำการทดลองนี้ไปพัฒนาต่อ เพื่อสร้างเครื่องในการกระตุ้นถ่านโดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟในระดับที่ใหญ่ขึ้น

1.4.3 เข้าใจวิธีการและสามารถนำไปประยุกต์ใช้หลักการกระตุ้น โดยใช้ความร้อนจาก

ไมโครเวฟในการดำเนินงานวิจัยอื่นๆ ซึ่งงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะพูดถึงทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆที่ใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ การกระตุ้นด้วยไอน้ำ (STEAM ACTIVATION) โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์ การให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ (MICROWAVE HEATING) ค่าการดูดซับไอโอดีน (IODINE NUMBER) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การผลิตถ่านกัมมันต์

การผลิตถ่านกัมมันต์โดยทั่วไป แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ (1) ขั้นตอนการเผาวัตถุดิบให้เป็นถ่าน โดยทั่วไปมักใช้วิธีเผาที่ไม่มีอากาศ เรียกว่า การคาร์บอนไนซ์ (CARBONIZATION) เป็นกระบวนการไพโรไลซิส (PYROLYSIS) เพื่อไม่ให้วัตถุดิบกลายเป็นเถ้า โดยใช้ความร้อนทำให้สารระเหยแตกตัว และแทรกออกจากวัตถุดิบ ทำให้เกิดเป็นของแข็งสีดำที่เรียกว่าถ่านชาร์ (CHAR) ส่วนที่หลุดออกมาคือ แก๊สและน้ำมันหาร์ กระบวนการคาร์บอนไนซ์จะเป็นการเพิ่มร้อยละของคาร์บอนให้สูงขึ้น และ (2) ขั้นตอนการนำถ่านไปเพิ่มคุณภาพด้วยเทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์โดยการกระตุ้นเพื่อเพิ่มโครงสร้างรูพรุน ทำให้ผิวของถ่านเกิดรูพรุนขนาดต่างๆ วัสดุเริ่มต้นสามารถใช้เป็นวัสดุคาร์บอน (CARBONIC MATERIALS) หลายชนิด ได้แก่ กะลามะพร้าว ชานอ้อย ไม้ไผ่ และไม้ถ่าน เป็นต้น [1] การผลิตถ่านกัมมันต์สามารถแสดงได้ตามรูปดังนี้



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้สามารถแบ่งเป็นชนิดต่างๆได้ดังนี้

แบ่งตามชนิดการกระตุ้นออกเป็น 2 วิธี คือ (1) การกระตุ้นทางเคมี (CHEMICAL ACTIVATION) โดยจะใช้สารเคมีผสมเข้ากับวัสดุเริ่มต้นเพื่อที่จะกัดสารอินทรีย์ต่างๆ (CAUTERIZATION) ออกจากรูเล็กๆ เมื่อทำการกระตุ้นแล้วจะต้องล้างสารเคมีออกจนหมด และ (2) การกระตุ้นทางกายภาพ (PHYSICAL ACTIVATION) ซึ่งจะแบ่งเป็น (2.1) การกระตุ้นด้วยไอน้ำ โดยวิธีการกระตุ้นทางกายภาพด้วยไอน้ำจะต้องใช้ไอน้ำที่ร้อนยิ่งยวด (SUPERHEATED STEAM) ผานเข้าไปในถ่านซึ่งเผาในอุณหภูมิค่อนข้างสูงประมาณ 700 - 1,000 องศาเซลเซียส เพื่อให้สารอินทรีย์ต่างๆสลายไป ในขณะที่ถ่านสัมผัสกับไอน้ำจะเกิดปฏิกิริยาได้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์บางส่วนทำปฏิกิริยากับไอน้ำควบคู่กันไปทำให้มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และแก๊สไฮโดรเจนหลุดออกไปทำให้เกิดรูพรุน (2.2) การกระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดปฏิกิริยาระหว่างถ่านกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ เมื่อแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์หลุดออกไปจะทำให้โครงสร้างภายในของถ่านเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยมีลักษณะเป็นรูพรุนกระจายอยู่

แบ่งตามขนาดรูพรุน ประกอบด้วย (1) ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (MICROPORE) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนเล็กกว่า 1.5 นาโนเมตร (2) ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดกลาง (MESOPORE) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนอยู่ในช่วง 1.5 - 200 นาโนเมตร (3) ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ (MACROPORE) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนมากกว่า 200 นาโนเมตร

แบ่งตามลักษณะของรูปร่างดังนี้ (1) ประเภทผง (POWDER) โดยทั่วไปขนาดของผงถ่านจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.15 - 0.25 มิลลิเมตร (2) ประเภทเกล็ด (PELLET) ถ่านกัมมันต์ในรูปเกล็ดนิยมใช้ในการดูดซับก๊าซหรือไอของสาร (3) ประเภทขึ้นรูปเป็นแท่ง (EXTRUDED) เป็นถ่านกัมมันต์ที่นำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีด (EXTRUDER) ทำให้ได้ถ่านลักษณะทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.8 - 4.5 มิลลิเมตร

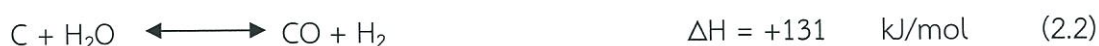
แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภทดังนี้ (1) ถ่านกัมมันต์ความหนาแน่นต่ำ คือมีความหนาแน่นน้อยกว่า 0.35 กรัม/ มิลลิลิตร ใช้ประโยชน์ เช่น ฟอกสีน้ำตาล ทำให้น้ำบริสุทธิ์ เป็นต้น (2) ถ่านกัมมันต์ความหนาแน่นสูง คือ มีความหนาแน่นมากกว่า 0.45 กรัม/ มิลลิลิตร นิยมใช้ในการดูดซับแก๊ส หรือไอระเหย [10]

2.2 การกระตุ้นด้วยไอน้ำ (STEAM ACTIVATION)

การกระตุ้น คือ การทำให้คาร์บอนหรือถ่าน มีความสามารถในการดูดซับสูงขึ้น เนื่องจากมีพื้นที่ผิวในการดูดซับหรือมีรูพรุนมากขึ้น เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่างไว (ACTIVE SURFACE AREA) โดยเกิดปฏิกิริยาเคมี ทำให้โมเลกุลบางกลุ่มหลุดออกไป ทำให้เกิดพื้นที่ที่สามารถดูดซับขึ้นมาแทน
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ หากมีการนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือทำให้อะตอมของคาร์บอนมีพลังงานศักย์สูงขึ้น โดยการเปลี่ยนรูปแบบโครงสร้างใหม่ ทำให้มีความว่องไวในการดูดซับมากขึ้นและเป็นการกำจัดอินทรีย์วัตถุหรืออนินทรีย์วัตถุที่เป็นสารปนเปื้อนออกจากบริเวณที่ทำหน้าที่ดูดซับ (ACTIVE CENTER) [7]

การกระตุ้นด้วยไอน้ำเป็นวิธีการกระตุ้นทางกายภาพ (PHYSICAL ACTIVATION) อย่างหนึ่งที่จะเพิ่มความสามารถในการดูดซับให้มากขึ้น โดยใช้แก๊สออกซิไดซ์ คือ ไอน้ำอ้อมตัวย่งยวด (STEAM) ร่วมกับการใช้ความร้อน ปัจจุบันที่มีผลต่อการกระตุ้นด้วยวิธีนี้คือ ชนิดและองค์ประกอบที่มีอยู่ในวัตถุดิบ คุณสมบัติทางเคมีและอัตราส่วนของแก๊สออกซิไดซ์ที่ใช้ อุณหภูมิขณะเกิดปฏิกิริยา และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา ข้อดีของการกระตุ้นทางกายภาพ คือ ไม่มีสารตกค้าง แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าการกระตุ้นด้วยสารเคมี กระบวนการกระตุ้นจะทำให้คาร์บอนทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิไดซ์เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์แพร่ออกทางผิวของถ่าน เกิดปฏิกิริยาการแปลงเป็นแก๊ส (GASIFICATION) ในบางส่วนของถ่าน ทำให้เกิดเป็นรูพรุนขึ้น ถ่านจากการเผา (CARBONIZATION) ประกอบด้วยรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากระหว่างผลึกในการจัดเรียงตัวของอะตอมของคาร์บอน แต่รูพรุนนี้จะบรรจุด้วยทาร์ (TAR) ซึ่งเกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อนและถูกขวางด้วยคาร์บอนอสัณฐาน (AMORPHOUS) การกระตุ้นจึงเป็นการเคลือบรูพรุนที่ถูกปิดและเป็นการสร้างรูพรุนใหม่ขึ้นมา ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (OXIDATION REACTION) ของคาร์บอนเกิดขึ้น โดยตัวทำปฏิกิริยาจะถูกส่งมาที่ผิวของอนุภาคและแพร่เข้าไปในรูพรุน ดังนั้นความเข้มข้นของตัวออกซิไดซ์จึงมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา กระบวนการแปลงเป็นแก๊สเป็นกระบวนการที่ทำให้องค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงชีวมวล เปลี่ยนรูปไปเป็นแก๊สเชื้อเพลิงที่จุดไฟติดและมีค่าความร้อนสูงโดยอาศัยปฏิกิริยาอุณหเคมี (THERMO-CHEMICAL REACTION) ซึ่งแก๊สเชื้อเพลิงดังกล่าวนี้ประกอบด้วยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สไฮโดรเจน (H₂) และแก๊สมีเทน (CH₄) ซึ่งสภาวะที่ทำให้เกิดแก๊สได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน ทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำจะไหลผ่านคาร์บอนที่กำลังลุกไหม้อยู่ ก่อให้เกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ไฮโดรเจน และมีเทน ดังสมการที่ (2.1) ถึง (2.5) [5]

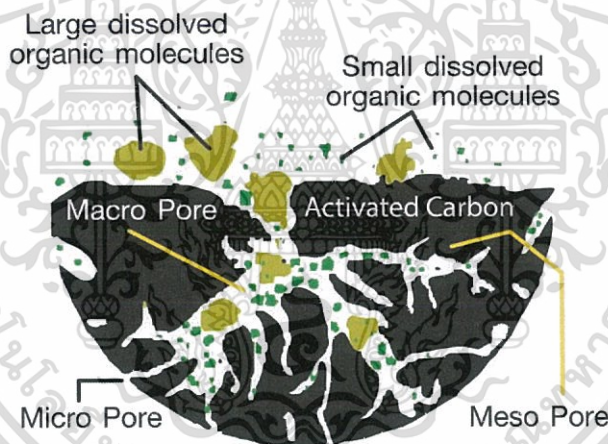


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาในสมการที่ (2.1) เรียกว่าปฏิกิริยารีดักชันของบูดูยาร์ด (BOUDOUARD REDUCTION) และปฏิกิริยาในสมการที่ (2.2) เรียกว่าปฏิกิริยารีดักชันของน้ำและแก๊ส (WATER GAS REDUCTION) เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน และเป็นปฏิกิริยาที่สำคัญสำหรับกระบวนการแปลงเป็นแก๊ส แก๊สที่ได้จากสมการทั้งสองเป็นแก๊สที่เผาไหม้ได้ และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ [5] [6] ปฏิกิริยาที่ (2.3) (2.4) และ (2.5) เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน และให้พลังงานสำหรับปฏิกิริยาที่ (2.1) และ (2.2)

2.3 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์

เมื่อพิจารณาที่ผิวของถ่านกัมมันต์จะพบรูพรุนจำนวนมากและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน รูพรุนเหล่านี้จะลึกเข้าไปในเนื้อของถ่านแบบไม่เป็นระเบียบและมีความลึกไม่สม่ำเสมอ โครงสร้างของถ่านกัมมันต์ส่วนมากประกอบด้วยรูพรุนกระจุกกระจายโครงสร้างมีทั้งรูพรุนขนาดใหญ่ ขนาดกลางและขนาดเล็ก เรียกว่าโครงสร้างผสม MIXED STRUCTURE TYPE) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์ [9]

ซึ่งสามารถจำแนกชนิดของรูพรุนตามขนาดรัศมีดังนี้

(1) ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (MICROPORE) คือถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนเล็กกว่า 1.5 นาโนเมตร ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.2 - 0.6 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิว 100 - 1,500 ตารางเมตรต่อกรัม

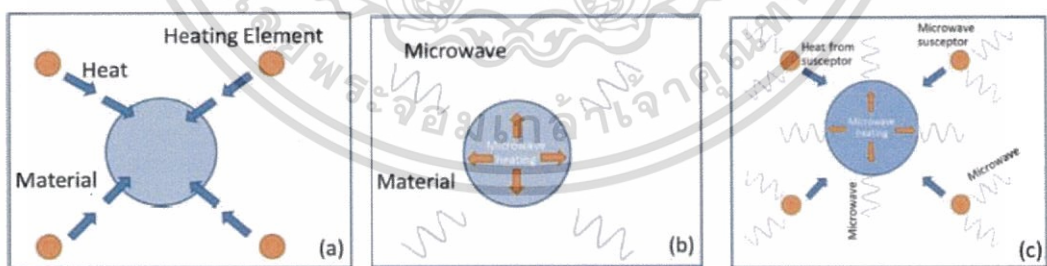
(2) ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดกลาง (MESOPORE) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนอยู่ในช่วง 1.5 - 200 นาโนเมตร ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.1 - 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิว 20 - 100 ตารางเมตรต่อกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) ถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ (MACROPORE) คือ ถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนมากกว่า 200 นาโนเมตร ปริมาตรอยู่ระหว่าง 0.2 - 0.8 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม พื้นที่ผิวไม่เกิน 0.5 ตารางเมตรต่อกรัม

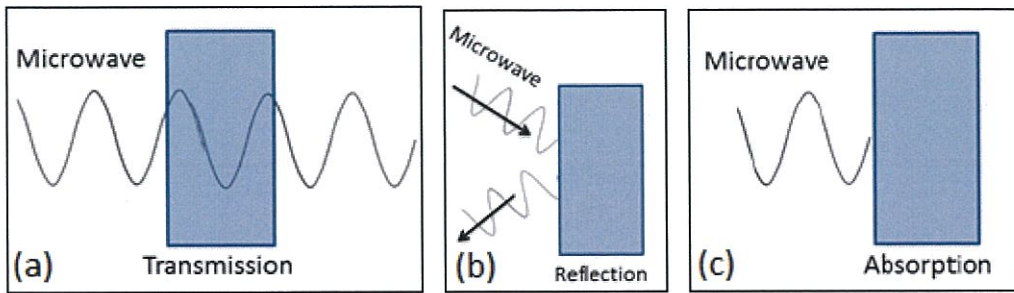
2.4 การให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ (MICROWAVE HEATING)

การให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างสารที่ต้องการทำให้ร้อน โดยไม่จำเป็นต้องให้ความร้อนแก่อากาศรอบๆ วัสดุหรือสารนั้น ซึ่งต่างกับการให้ความร้อนตามปกติในเตาเผาทั่วไป ภาพที่ 2.2 (a) และ (b) แสดงการให้ความร้อนตามปกติและแบบใช้ไมโครเวฟ ในการให้ความร้อนตามปกติ อุณหภูมิของวัสดุสูงขึ้นโดยความร้อนที่มาจากเส้นลวดให้ความร้อน (HEATING ELEMENT) โดยการพาความร้อน (CONVECTION) หรือการแผ่ความร้อน (RADIATION) และการนำความร้อน (Conduction) ที่ได้รับจากเส้นลวดให้ความร้อนจากผิววัสดุไปสู่แกนกลางของวัสดุนั้น สำหรับวิธีการให้ความร้อนแบบนี้ นอกจากวัสดุจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นแล้ว อากาศรอบๆ ก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย ซึ่งต่างกับการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่ความร้อนเกิดขึ้นภายในวัสดุโดยอันตรกิริยาระหว่างวัสดุและไมโครเวฟเท่านั้น โดยไม่จำเป็นต้องทำให้อากาศรอบๆ วัสดุมีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟจึงมีประสิทธิภาพเชิงพลังงาน (ENERGY EFFICIENT) ที่ดีกว่าการให้ความร้อนตามปกติ นอกจากนี้ในภาพที่ 2.3 (c) แสดงวิธีการให้ความร้อนแบบไฮบริดโดยความร้อนจะมาจาก (1) อันตรกิริยาระหว่างวัสดุและไมโครเวฟ และ (2) ความร้อนที่มาจากตัวรับไมโครเวฟ (MICROWAVE SUSCEPTOR) ซึ่งหากวัสดุที่ดูดกลืนไมโครเวฟได้ดี โดยวิธีการนี้เหมาะสำหรับให้ความร้อนกับวัสดุที่ดูดกลืนไมโครเวฟได้น้อย



รูปที่ 2.3 วิธีการให้ความร้อน (a) การให้ความร้อนตามปกติ (CONVECTIONAL HEATING) (b) การให้ความร้อนโดยไมโครเวฟ (MICROWAVE HEATING) (c) การให้ความร้อนแบบไฮบริด (HYBRID HEATING) [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 อันตรกิริยาระหว่างไมโครเวฟและวัสดุ (a)การส่องผ่าน (b)การสะท้อน (c)การดูดกลืน [8]

ภาพที่ 2.4 แสดงอันตรกิริยาระหว่างไมโครเวฟและวัสดุซึ่งแบ่งได้เป็น 3 กรณี ได้แก่ 1) ไมโครเวฟผ่านวัสดุโดยไม่ถูกดูดกลืน หรือถูกดูดกลืนน้อยมาก (TRANSPARENT) ซึ่งเกิดขึ้นกับวัสดุที่เป็นฉนวน เช่น วัสดุเซรามิกบาง ประเภทได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) อะลูมินา (Al₂O₃) และแก้ว เช่น ฟิวส์ควอตซ์ (FUSED QUARTZ) และไพเร็กซ์ (PYREX) เป็นต้น 2) ไมโครเวฟไม่ถูกดูดกลืนและสะท้อนจากผิววัสดุ ที่เป็นตัวนำไฟฟ้า เช่น โลหะ และ 3) ไมโครเวฟ ถูกดูดกลืนโดยวัสดุแล้วเปลี่ยนเป็นความร้อนโดย การสูญเสียไดอิเล็กทริก (DIELECTRIC LOSS) การสูญเสียฮิสเทอรีซิส (HYSTERESIS LOSS) หรือการ สูญเสียจากกระแสเอ็ดดี้ (EDDY CURRENT LOSS) โดย ตัวอย่างวัสดุที่ดูดกลืนไมโครเวฟได้ดี ได้แก่ เซรา มิกบางประเภท เช่น คาร์บอน แมกนีไทท์ (Fe₃O₄) ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) เซอร์โคเนียมออกไซด์ (ZrO₂) และ สังกะสีออกไซด์ (ZnO) เป็นต้น [8]

2.5 ค่าการดูดซับไอโอดีน (IODINE NUMBER)

การศึกษาการดูดซับไอโอดีนเป็นวิธีที่ง่ายในการหาค่าเปรียบเทียบกับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ การหาค่าการดูดซับไอโอดีนแสดงถึงพื้นที่ผิวของรูพรุนขนาดเล็ก เป็นการหาจำนวนมิลลิกรัมของสารละลายไอโอดีนที่ถูกดูดซับ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 1 กรัม ที่จุดซึ่งความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือเท่ากับ 0.02 นอร์มอล หรือให้อยู่ในช่วง 0.007 - 0.03 นอร์มอล โมเลกุลของไอโอดีนมีขนาดเท่ากับ 0.54 นาโนเมตรวิธีวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน ตามมาตรฐาน ASTM D4607-94 [10,11] ค่าการดูดซับไอโอดีน (IODINE NUMBER) สามารถคำนวณจากสูตรดังนี้

$$\frac{X}{M} = \frac{A - (DF \times B \times S)}{M} \quad (2.6)$$

$$DF = \frac{I + H}{F} \quad (2.7)$$

โดยที่ $\frac{X}{M}$ คือ ค่าการดูดซับไอโอดีนต่อน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

M คือ น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- A* คือ น้ำหนักทั้งหมดของไอโอดีนในสารละลายเริ่มต้นจำนวน 100 มิลลิลิตร ($N_2 \times 12693.0$) (มิลลิกรัม)
- B* คือ น้ำหนักทั้งหมดของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ปริมาตร 1 ลิตร ($N_1 \times 126.93$) (กรัมต่อลิตร)
- DF* คือ ค่าแฟกเตอร์การเจือจาง (DILUTION FACTOR)
- S* คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (มิลลิลิตร)
- N_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มอล)
- N_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (นอร์มอล)
- I* คือ ปริมาณสารละลายไอโอดีน (มิลลิลิตร)
- H* คือ ปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล (มิลลิลิตร)
- F* คือ ปริมาณสารละลายที่กรอง (มิลลิลิตร)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

WEI LI และคณะ [2] ได้ทำการศึกษาถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงจากต้นยาสูบด้วยการกระตุ้นกับ K_2CO_3 ด้วยรังสีไมโครเวฟ และได้วิเคราะห์ผลของรังสีไมโครเวฟ อัตราส่วนระหว่าง K_2CO_3 กับคาร์บอน ผลผลิต และประสิทธิภาพการดูดซับถ่านกัมมันต์ ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ กำลังไฟของไมโครเวฟเท่ากับ 700 วัตต์ เวลาในการกระตุ้น 30 นาที อัตราส่วนระหว่าง K_2CO_3 กับคาร์บอนเท่ากับ 1.5 ค่าการดูดซับไอโอดีน ปริมาณค่าการดูดซับเมทิลีนบลู และผลผลิตของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมภายใต้สภาวะที่เหมาะสมมี 1834 มิลลิกรัมต่อกรัม 517.5 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 16.65 ตามลำดับ พื้นที่ผิวและปริมาตรการกระจายขนาดของรูพรุน รูพรุนขนาดเล็ก (MICROPORE) ของคาร์บอนถูกกำหนดโดยเติมพิน h-k และวิธี DFT . ผลการทดลองพบว่า ถ่านกัมมันต์มีรูพรุนขนาดเล็ก (MICROPORE) 59.98 เปอร์เซ็นต์และมีรูพรุนขนาดใหญ่และรูพรุนขนาดกลางจำนวนน้อย และพื้นที่ผิวจำเพาะกับปริมาณรูพรุนทั้งหมดเท่ากับ 1.647 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม 2557 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ

KUNBIN YANG และคณะ [12] ได้ศึกษาการใช้กะลามะพร้าวเพื่อเตรียมถ่านกัมมันต์โดยใช้ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำผสมกับคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นตัวกระตุ้นด้วยความร้อนจากไมโครเวฟ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่าพื้นที่ผิว BET ของถ่านกัมมันต์โดยกำหนดให้ปริมาณตัวกระตุ้นมากเกินไป พื้นที่ผิวที่ได้มีค่าเท่ากับ 2000 ตารางเมตรต่อกรัม เวลาที่ใช้ในการกระตุ้นการเอกซสเรชั่นนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ความร้อนจากไมโครเวฟมากขึ้นมาก ในขณะที่ผลผลิตของถ่านมากกว่าเมื่อเทียบกับวิธีทำความร้อนแบบปกติ ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ มีค่าพื้นที่ผิว BET ที่ใหญ่ที่สุดอย่างไรก็ตาม เวลาที่ใช้ในการกระตุ้นประมาณ 2.5 เท่า ซึ่งมากกว่าการกระตุ้นด้วยไอน้ำหรือไอน้ำผสมกับคาร์บอนไดออกไซด์ โครงสร้างทางเคมีของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมตรวจสอบการใช้ฟูเรียร์แปลงสเปกตรัมอินฟราเรด (FTIR) ไม่พบความแตกต่างในพื้นที่ผิวหมู่ฟังก์ชันของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมโดยใช้ตัวกระตุ้นที่แตกต่างกัน

DUAN XIN-HUI และคณะ [13] ได้ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากสบู่ดำ โดยใช้ไอน้ำเป็นกระตุ้นและความร้อนจากไมโครเวฟ เทคนิคการตอบสนองที่พื้นผิว (RSM) ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเงื่อนไขกระบวนการ ซึ่งศึกษาอิทธิพลของตัวแปร 3 หลักคือ อุณหภูมิที่ใช้ในการกระตุ้น เวลาที่ใช้ในการกระตุ้นและอัตราการไหลของไอน้ำต่อถ่านกัมมันต์ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อระบุพารามิเตอร์ที่สำคัญ สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านกัมมันต์คือ การกระตุ้นที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส , เวลาที่ใช้ในการกระตุ้นเท่ากับ 19 นาที อัตราการไหลของไอน้ำและ 5 กรัมต่ออนาที ผลที่ได้จากสภาวะที่เหมาะสมทำให้ถ่านกัมมันต์ที่มีไอโอดีน 988 มิลลิกรัมต่อกรัม และร้อยละผลผลิตของ 16.56 ในขณะที่พื้นที่ผิว BET โดยใช้การดูดซับของไอโซเทอมของไนโตรเจนซึ่งมีค่าเท่ากับ 1350 ตารางเมตรต่อกรัม มีปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 1.07 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ถ่านกัมมันต์มีรูพรุนอื่นด้วยและเกิดมีรูพรุนขนาดเล็ก (MICROPORE) ปริมาณ 40.8 เปอร์เซ็นต์

HUI DENG และคณะ [14] ได้ศึกษาถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากถ่านสาลีกับ $ZnCl_2$ โดยใช้รังสีไมโครเวฟ ผลกระทบต่อผลผลิต ประสิทธิภาพการดูดซับคาร์บอน กำลังไฟของไมโครเวฟ เวลาในการกระตุ้น และอัตราส่วนของ $ZnCl_2$ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ กำลังไฟของไมโครเวฟเท่ากับ 560 วัตต์ เวลาในการกระตุ้นเท่ากับ 9 นาที และอัตราส่วนของ $ZnCl_2$ เท่ากับ 1.6 กรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับไอโอดีน ปริมาณค่าการดูดซับเมทิลีนบลู และร้อยละผลผลิตของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมภายใต้สภาวะที่เหมาะสม คือ 972.92 มิลลิกรัมต่อกรัม 193.50 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 37.92 ตามลำดับ การตรวจสอบลักษณะของถ่านกัมมันต์จะใช้ pH_{zpc} , SE , FT-IR, BET และพารามิเตอร์ทางโครงสร้างรูพรุน และใช้ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับสำหรับการกำจัดเมธิลีนบลูจากสารละลายภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างของความเข้มข้นปริมาณคาร์บอนและ pH พบว่าแลงเมอริ์ไอโซเทอม (LANGMUIR ISOTHERM) เป็นเหมาะสมกว่าฟิรด์ลิชไอโซเทอม (FREUNDLICH ISOTHERM) และเทมคินไอโซเทอม (TEMKIN ISOTHERM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MUTHANNA J และคณะ [15] ได้ศึกษาการกระตุ้นโดยใช้ไมโครเวฟโดยนำมาใช้ในการผลิต ถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรคือฝักเมล็ดของต้นจามจุรีทอง ผลที่ได้คือพื้นที่ผิว ปริมาตร รูพรุนขนาดเล็ก (MICROPORE) และปริมาตรรูพรุนขนาดกลาง (MESOPORE) ของถ่านกัมมันต์นี้ (KAC) คือ 1,824.88 ตารางเมตรต่อกรัม 0.645 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัมและ 0.137 ลูกบาศก์ เซนติเมตรต่อกรัม ตามลำดับ และได้ศึกษาผลของตัวแปรในการกระตุ้นแสดงโดยเวลาในการกระตุ้น กำลังไฟของไมโครเวฟ อัตราส่วนของตัวกระตุ้น ร้อยละผลผลิตและค่าดูดซับเมธิลีนบลูของถ่านกัม มันต์ บล็อก-วิลสัน (BOX-WILLSON) ได้ออกแบบการทดลอง ผลที่ได้คือการดูดซับเมธิลีนบลูของ ถ่านกัมมันต์มีค่าเท่ากับ 220.83 มิลลิกรัมต่อกรัมและร้อยละผลผลิตของคาร์บอนเท่ากับ 22.48 เปอร์เซ็นต์ที่สภาวะการเตรียมการที่ดีที่สุด ค่าดูดซับเมธิลีนบลูของถ่านกัมมันต์จากข้อมูลการทดลอง พบว่าแลงเมอร์ไอโซเทอม (LANGMUIR ISOTHERM) ให้ดูดซับเมธิลีนบลูสูงสุด 381.22 มิลลิกรัมต่อ กรัม จากการทดลองสามารถอธิบายได้ว่าเป็นไปตามสมการอัตราเร็วปฏิกิริยาเทียมอันดับสอง (PSEUDO-SECOND ORDER)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองสามารถแบ่งได้หลักๆเป็น 4 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเตรียมถ่าน ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย ขั้นตอนการกระตุ้นถ่านและขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลอง ขั้นตอนการเตรียมถ่านทำได้โดยการบดถ่านและนำไปคัดขนาด จากนั้นกำจัดเถ้าและโลหะหนักจากการเผาไหม้ออก โดยเติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ จากนั้นกรองและปรับสภาพถ่านให้เป็นกลาง แล้วนำไปอบให้แห้งในเตาอบ จากนั้นนำถ่านไปกระตุ้นโดยใช้น้ำภายในไมโครเวฟ จากนั้นนำถ่านกัมมันต์ที่ได้ไปวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 ขั้นตอนการเตรียมถ่าน

3.1.1 สารเคมีที่ใช้

1. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 1 โมลาร์
2. โซเดียมไรโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
3. ไอโอดีน (I_2)
4. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)
5. โพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3)
6. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ครกในการบดถ่าน
2. ตะแกรงคัดขนาด
3. ปีกเกอร์
4. แท่งแม่เหล็กคนสารและเครื่องคนสาร
5. กรวยกรองสุญญากาศและกระดาษกรอง
6. ตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำถ่านไม้ยางพาราที่เหลือใช้จากอุตสาหกรรมมาบดให้ละเอียด ให้ได้ขนาดตามมาตรฐาน ASTM D4607-94 โดยผ่านตะแกรงขนาด 325 เมช
2. นำถ่านที่บดเรียบร้อยแล้วไปกำจัดเถ้าและโลหะหนักจากการเผาไหม้ ออก โดยเติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ แล้วคนทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง
3. จากนั้นนำไปกรองและปรับสภาพถ่านให้เป็นกลาง
4. เมื่อถ่านมีสภาพเป็นกลางแล้ว นำไปอบให้แห้งในเตาอบเพื่อกำจัดความชื้นออก

3.2 ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย [11]

3.2.1 สารเคมีที่ใช้

1. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 37 เปอร์เซ็นต์โดยมวล
2. โซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)
3. ไอโอดีน (I_2)
4. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI)
5. โพแทสเซียมไฮโอเดต (KIO_3)
6. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ขวดใส่สารปริมาตร 1 ลิตร
2. บีเปตขนาด 10 มิลลิลิตร
3. ปีกเกอร์
4. แท่งแม่เหล็กคนสารและเครื่องคนสาร
5. ขวดวัดปริมาตร
6. เครื่องชั่ง 6 ตำแหน่ง
7. บิวเรต
8. ขวดรูปชมพู่ 250 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. เตรียมโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 0.1 นอร์มอล
 - 2.1 ผสมโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) หนัก 24.820 กรัม กับน้ำปลอดประจุ (DI) ปริมาตร 75 มิลลิลิตร
 - 2.2 เติมโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) หนัก 0.1 กรัม แล้วเติมน้ำปลอดประจุจนได้สารละลายปริมาตร 1 ลิตร เก็บสารไว้ 4 วันในขวดสีชา แล้วจึงนำมาใช้งาน
3. เตรียมสารละลายไอโอดีน (I_2) 0.1 นอร์มอล
 - 3.1 ชั่งไอโอดีน (I_2) หนัก 12.7 กรัม
 - 3.2 ชั่งโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) หนัก 19.1 กรัม
 - 3.3 ผสมไอโอดีน (I_2) และโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ที่ชั่งไว้ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำปลอดประจุ (DI) 2-5 มิลลิลิตรแล้วคนสารละลาย ค่อยๆเติมน้ำปลอดประจุ (DI) ทีละ 5 มิลลิลิตร จนกระทั่งมีปริมาตร 50-60 มิลลิลิตร คนทิ้งไว้ 4 ชั่วโมง แล้วเติมน้ำปลอดประจุ (DI) จนได้สารละลายปริมาตร 1 ลิตร
4. เตรียมสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) 0.1 นอร์มอล
 - 4.1 ชั่งโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) หนัก 4 กรัม นำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น (DESICCATOR)
 - 4.2 ละลายสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) หนัก 3.566 กรัม ในน้ำปลอดประจุ (DI) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำปลอดประจุ (DI) จนได้สารละลายปริมาตร 1 ลิตร
5. น้ำแป้งสุก
 - 5.1 ชั่งแป้งมัน หนัก 1 ± 0.5 กรัม เติมน้ำกลั่น 5 - 10 มิลลิลิตร เพิ่มอีก 25 ± 5 มิลลิลิตรของน้ำ
 - 5.2 ในขณะที่คนกับแป้ง เหล่าส่วนผสมจะคน ใน 1 ลิตรของน้ำเดือด ต้ม 5 นาที วิธีนี้ควรทำใหม่ทุกครั้ง

3.2.4 วิธีเทียบค่าสารละลายมาตรฐาน

1. เทียบค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ที่ 1 นอร์มอล

1.1 ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่

1.2 เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) หนัก 2.00 ± 0.01 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ เขย่าให้โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ละลาย

1.3 เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ปริมาตร 5 มิลลิลิตรลงในขวดรูปชมพู่

1.4 ไทเทรตเพื่อปรับสภาพสารละลายไอโอดีนอิสระ (FREE IODINE) ในสารละลายในข้อที่ 1.1-1.3 กับสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) จนกระทั่งสารละลายมีสีเหลืองอ่อน

1.5 หยดน้ำแป้ง 2 - 3 หยด และไทเทรตเพื่อปรับสภาพสารละลายต่อจนกระทั่งสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ที่ใช้ (กำหนดให้เป็น $V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$ หรือ S_1)

1.6 คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) จากสมการดังนี้

$$N_1 = \frac{P \times R}{S_1} \quad (3.1)$$

โดยที่ N_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) (นอร์มอล)

P คือ ปริมาตรโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) (มิลลิลิตร)

R คือ ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) (นอร์มอล)

S_1 คือ ปริมาตรโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ที่ใช้ในการเทียบค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) (มิลลิลิตร)

หมายเหตุ ควรไทเทรต 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

2. เทียบค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (I_2) 0.1 ± 0.001 นอร์มอล

2.1 ปิเปตสารละลายไอโอดีน (I_2) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่

2.2 ไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) จนกระทั่งสารละลายมีสีเหลืองอ่อน

2.3 หยดน้ำแบ่ง 2 - 3 หยด และไทเทรตเพื่อปรับสภาพสารละลายต่อจนกระทั่งสารละลายไม่มีสี บันทึกปริมาตรโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ที่ใช้ (กำหนดให้เป็น $V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$ หรือ S_2)

2.4 คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (I_2) จากสมการดังนี้

$$N_2 = \frac{S_2 \times N_1}{I} \quad (3.2)$$

โดยที่ N_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) (นอร์มอล)

N_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (I_2) (นอร์มอล)

I คือ ปริมาตรไอโอดีน (I_2) (มิลลิลิตร)

S_2 คือ ปริมาตรโซเดียมไฮโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) ที่ใช้ในการเทียบค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (I_2) (มิลลิลิตร)

หมายเหตุ ควรไทเทรต 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

3.3 ขั้นตอนการกระตุ้นถ่าน

3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ไมโครเวฟ
2. เครื่องแก้วควบแน่น
3. ปัมสุญญากาศ
4. ท่อแก้วนำแก๊ส
5. จุกยาง
6. ถ้วยอะลูมินา (เครื่องปฏิกรณ์อะลูมินา)
7. อิฐทนไฟและอิฐมวลเบา
8. แผ่นเส้นใยเซรามิก

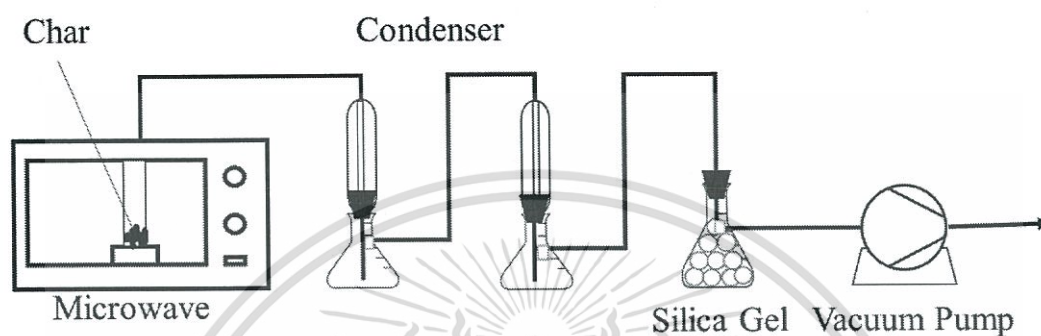
3.3.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำถ่านไม้ยางพาราที่เหลือใช้จากอุตสาหกรรมที่ผ่านการเตรียมแล้วมาชั่งน้ำหนัก 5 กรัม ใส่ลงในท่ออะลูมินา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เติมน้ำในอิตาลีส่วนน้ำต่อถ่าน ได้แก่ 8 : 5 12 : 5 และ 16 : 5 ใส่ลงในท่ออะลูมินา คนให้น้ำกับถ่านรวมกัน แล้วนำไปใส่ในไมโครเวฟแล้วจัดระบบตามรูปที่ 3.1

3. ปรับกำลังไฟของไมโครเวฟที่ 800 วัตต์ เวลาที่ใช้ในการกระตุ้นถ่าน ได้แก่ 15 30 และ 60 นาที เมื่อกระตุ้นเสร็จแล้วต้องรอรระบบเย็นตัวลง เพื่อกันการแตกของท่ออะลูมินาเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิที่สูงมาก

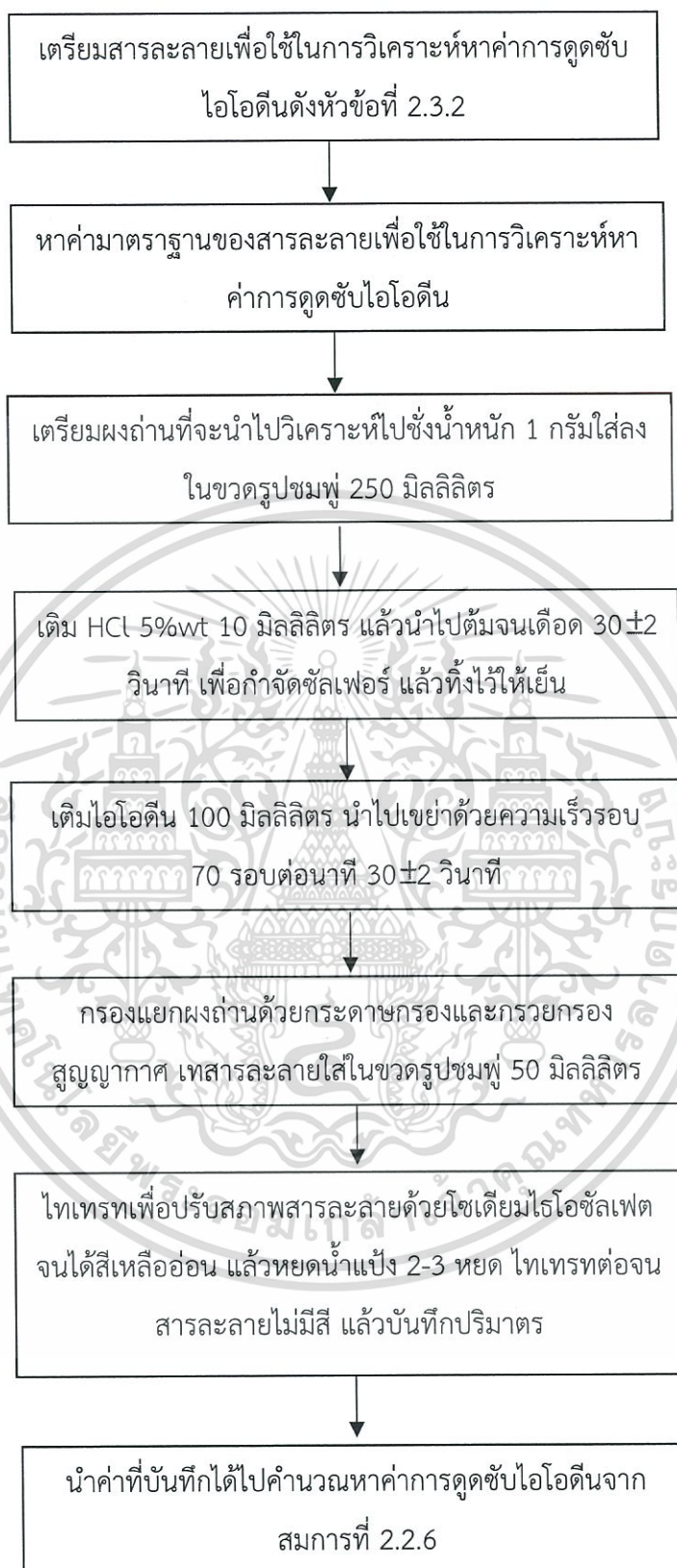


รูปที่ 3.1 การกระตุ้นถ่านด้วยไอน้ำโดยความร้อนจากไมโครเวฟ

3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลอง

การดูดซับไอโอดีนเป็นวิธีที่ง่ายในการหาค่าเปรียบเทียบกับพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์การหาค่าการดูดซับไอโอดีนแสดงถึงพื้นที่ผิวของรูพรุนขนาดเล็ก เป็นการหาจำนวนมิลลิกรัมของสารละลายไอโอดีนที่ถูกดูดซับ โดยใช้ถ่านกัมมันต์ 1 กรัม ที่จุดซึ่งความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีนที่เหลือเท่ากับ 0.02 นอร์มอล หรือให้อยู่ในช่วง 0.007 - 0.03 นอร์มอล โมเลกุลของไอโอดีนมีขนาดเท่ากับ 0.54 นาโนเมตรวิธีวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับไอโอดีน ตามมาตรฐาน ASTM D4607-94 [10,11]

ในการศึกษานี้ ได้นำถ่านชาร์และถ่านกัมมันต์จากถ่านเหลือใช้จากอุตสาหกรรมมาทำการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวรูพรุนด้วยเทคนิคการทดสอบค่าการดูดซับไอโอดีน โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังแผนผังดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนผังขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าการดูดซับไอโอดีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

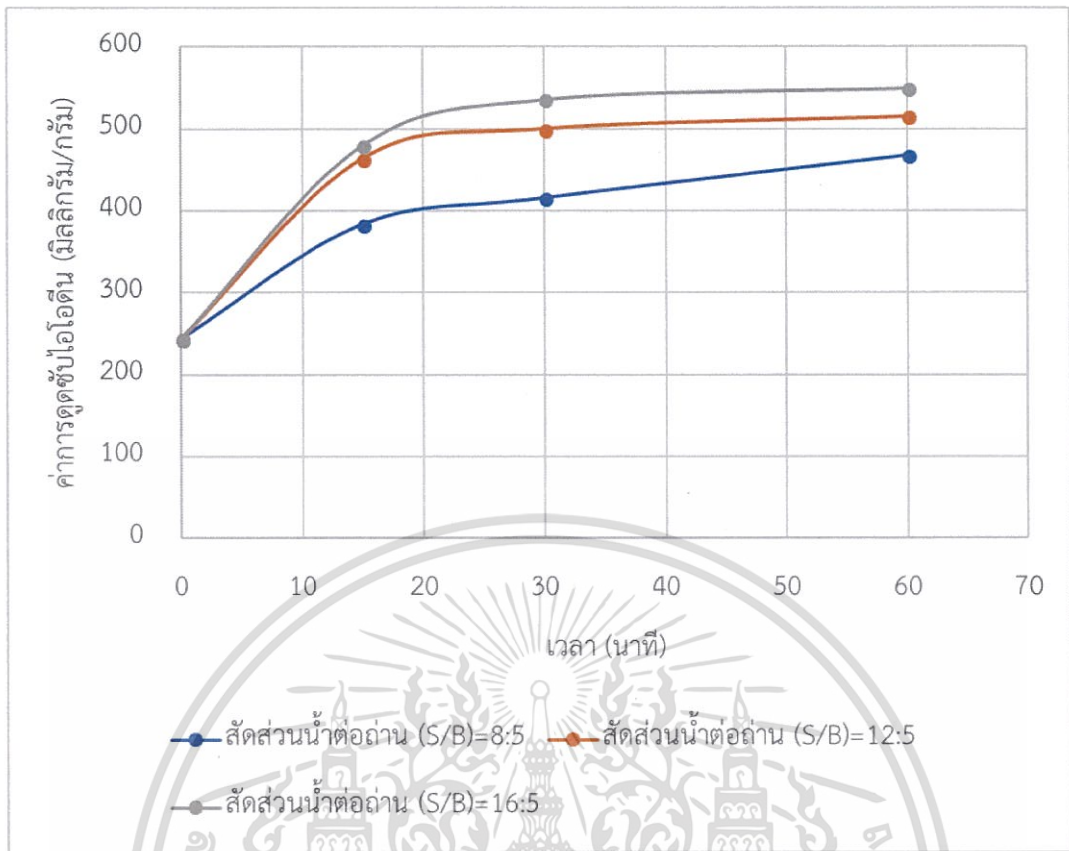
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการทดลองจากการผลิตถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางเหลือใช้จากอุตสาหกรรมจะถูกนำไปวิเคราะห์หาค่าการดูดซับไอโอดีนตามมาตรฐาน ASTM D4607-94 จากการกระตุ้นด้วยไอน้ำโดยใช้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟสามารถคำนวณหาค่าการดูดซับไอโอดีนในแต่ละสัดส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) ได้ดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าไอโอดีนของแต่ละตัวอย่างจากการทดลอง

การกระตุ้นโดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟ					
ตัวอย่าง	S/B	เวลา (นาที)	ตัวกระตุ้น	กำลังไฟของไมโครเวฟ (วัตต์)	ค่าการดูดซับไอโอดีน (X/M)
1	0	0	H ₂ O	800	244.22
2	8:5	15	H ₂ O	800	383.92
3	8:5	30	H ₂ O	800	416.12
4	8:5	60	H ₂ O	800	467.96
5	12:5	15	H ₂ O	800	464.18
6	12:5	30	H ₂ O	800	500.19
7	12:5	60	H ₂ O	800	515.11
8	16:5	15	H ₂ O	800	480.11
9	16:5	30	H ₂ O	800	536.11
10	16:5	60	H ₂ O	800	549.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าการดูดซับไอโอดีนของแต่ละตัวอย่างจากการทดลอง

จะเห็นได้ว่า ถ่านไม้อย่างพาราที่ได้รับการกระตุ้นโดยน้ำที่โดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟจะทำให้ได้ถ่านกัมมันต์ที่มีค่าไอโอดีนมากกว่าถ่านที่ไม่ได้ผ่านการกระตุ้น ซึ่งสังเกตได้จากค่าการดูดซับไอโอดีนที่เพิ่มขึ้น โดยถ่านไม้อย่างพาราที่ยังไม่ถูกกระตุ้นมีค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 224.22 มิลลิกรัม/กรัม ส่วนถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 16 : 5 ที่เวลา 60 นาทีมีค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 549.94 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งมีค่ามากกว่าถึง 2.453 เท่าของถ่านที่ยังไม่ถูกกระตุ้น และพบว่าปริมาณน้ำและเวลาในการกระตุ้นในการเตรียมถ่านกัมมันต์มีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากเมื่อจากการทดลองที่อัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 8 : 5 เมื่อน้ำระเหยออกไปจนหมดจะทำให้ทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นช้าลง ซึ่งสังเกตจากค่าการดูดซับไอโอดีนที่เพิ่มขึ้นเพียงเพียงเล็กน้อย ซึ่งที่เวลา 60 นาที ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 8 : 5 มีค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 467.96 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งน้อยกว่าเมื่อเทียบกับที่เวลา 60 นาที ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 16 : 5 มีค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 549.94 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งมีค่ามากกว่าถึง 1.175 เท่าของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 8 : 5

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางเหลือใช้กับถ่านกัมมันต์ชนิดอื่นๆ โดยใช้เวลา 60 นาที

ตัวอย่าง	ชนิดของถ่าน	ตัวกระตุ้น	อุณหภูมิในการกระตุ้น (°C)	แหล่งความร้อน	ค่าการดูดซับไอโอดีน (X/M)	อ้างอิง
1	กะลามะพร้าว, ซังข้าวโพด	น้ำเกลือ	800	เตาเผา	348.75	[16]
2	ไม้กระถินเทพา	H ₂ O	400	เตาเผา	532.00	[17]
3	กะลามะพร้าว	บรรยากาศ	800	เตาเผา	378.00	[12]
4	กะลาปาล์ม น้ำมัน	H ₃ PO ₄	800	เตาเผา	448.00	[18]
5	ถ่านไม้ ยางพารา	H ₂ O	ไม่สามารถวัดได้	ไมโครเวฟ	549.94	การศึกษาครั้งนี้

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางเหลือใช้กับถ่านกัมมันต์ชนิดอื่นๆ ที่ใช้ไมโครเวฟในการกระตุ้น

ตัวอย่าง	ชนิดของถ่าน	ตัวกระตุ้น	กำลังไฟ (W)	แหล่งความร้อน	ค่าการดูดซับไอโอดีน (X/M)	อ้างอิง
1	ไม้สนขาว	ZnCl ₂	700	ไมโครเวฟ	1100.00	[19]
2	เปลือกสับดำ	H ₂ O	3000	ไมโครเวฟ	988.00	[20]
3	ก้านฝ้าย	ZnCl ₂	560	ไมโครเวฟ	972.92	[21]
4	กะลามะพร้าว	H ₂ O	40000	ไมโครเวฟ	1077.50	[22]
5	ถ่านไม้ ยางพารา	H ₂ O	800	ไมโครเวฟ	549.94	การศึกษาครั้งนี้

จากตารางที่ 4.2 ได้เปรียบเทียบคุณภาพของถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางเหลือใช้ในอุตสาหกรรมที่ได้ผลิตในการศึกษาครั้งนี้ จึงได้เปรียบเทียบค่าการดูดซับไอโอดีนกับถ่านกัมมันต์จากชีวมวลชนิดอื่นๆ ที่มีทั้งการกระตุ้นโดยใช้สารกระตุ้นชนิดเดียวกันและต่างชนิดกัน ภายใต้เวลาในการกระตุ้นที่เท่ากันคือ 60 นาที โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.2 ส่วนตารางที่ 4.3 ได้เปรียบเทียบค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางเหลือใช้กับถ่านกัมมันต์ชนิดอื่นๆ ที่ใช้ไมโครเวฟในการกระตุ้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางเหลือใช้กับถ่าน กัมมันต์ชนิดอื่นๆ ที่ใช้ไมโครเวฟในการ กระตุ้น

จากตารางที่ 4.2 พบว่าถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางเหลือใช้จากอุตสาหกรรมให้ค่าการดูดซับ ไอโอดีนเท่ากับ 549.94 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับถ่านชนิดอื่นๆ แสดงให้เห็นว่าด้วยเวลาที่ น้อยกว่าเนื่องจากการใช้เตาเผาต้องใช้เวลาในการเพิ่มอุณหภูมิให้ไปถึงอุณหภูมิที่ต้องการเป็น เวลานาน แต่การใช้ไมโครเวฟสามารถเพิ่มอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากถ่านมีสมบัติไดอิเล็กตริก สูง จึงทำให้ดูดซับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟไว้มาก ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จึง ประหยัดเวลาในการเพิ่มอุณหภูมิ และถ้าหากเพิ่มเวลาในการกระตุ้นและเพิ่มปริมาณน้ำก็มีแนวโน้มที่ จะให้ค่าความเป็นรูพรุนที่มากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ปริมาณน้ำและเวลาในการกระตุ้นในการเตรียมถ่านกัมมันต์มีผลต่อการดูดซับของถ่านกัมมันต์ เนื่องจากเมื่อจากการทดลองที่อัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 8:5 เมื่อน้ำระเหยออกไปจำนวนมากทำให้ทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นช้าลง ซึ่งสังเกตจากค่าการดูดซับไอโอดีนที่เพิ่มขึ้นเพียงเพียงเล็กน้อย ซึ่งที่เวลา 60 นาที ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 8 : 5 มีค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 467.96 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งน้อยกว่าเมื่อเทียบกับที่เวลา 60 นาที ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 16:5 มีค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 549.94 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งมีค่ามากกว่าถึง 1.175 เท่าของถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 8 : 5 จากการเปรียบเทียบค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางเหลือใช้กับถ่านกัมมันต์ชนิดอื่นๆพบว่าถ่านกัมมันต์จากถ่านไม้ยางเหลือใช้จากอุตสาหกรรมให้ค่าการดูดซับไอโอดีนเท่ากับ 467.96 และ 549.94 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับถ่านชนิดอื่นๆ แสดงให้เห็นว่าด้วยเวลาที่น้อยกว่าเนื่องจากการใช้เตาเผาต้องใช้เวลาในการเพิ่มอุณหภูมิให้ไปถึงอุณหภูมิที่ต้องการเป็นเวลานาน แต่การใช้ไมโครเวฟสามารถเพิ่มอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากถ่านมีสมบัติไดอิเล็กตริกสูง จึงทำให้ดูดซับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟไว้มาก ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงประหยัดเวลาในการเพิ่มอุณหภูมิ และถ้าหากเพิ่มเวลาในการกระตุ้นและเพิ่มปริมาณน้ำก็มีแนวโน้มที่จะให้ค่าความเป็นรูพรุนที่มากขึ้น งานวิจัยนี้สามารถพัฒนาต่อเพื่อสร้างเครื่องในการกระตุ้นถ่านโดยใช้ความร้อนจากไมโครเวฟในระดับที่ใหญ่ขึ้นและวัสดุที่ใช้ในไมโครเวฟควรเป็นวัสดุที่มีค่าไดอิเล็กตริกที่ต่ำเนื่องจากถ้าเป็นวัสดุที่มีค่าอิเล็กตริกสูงอาจทำให้เกิดการรั่วได้ เนื่องจากวัสดุดูดซับคลื่นไมโครเวฟเข้าไปเป็นจำนวนมาก

เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Phuangchik, “Activated Carbon from Bamboo : Does the Market have a High Demand ?,” 2558.
- [2] W. Li, L. bo Zhang, J. hui Peng, N. Li, and X. yun Zhu, “Preparation of high surface area activated carbons from tobacco stems with K₂CO₃ activation using microwave radiation,” *Ind. Crops Prod.*, vol. 27, no. 3, pp. 341–347, 2008.
- [3] การยางแห่งประเทศไทย, <http://www.raot.co.th/>
- [4] สำนักงานพัฒนาการวิจัยทางการเกษตร, <http://www.arda.or.th/>
- [5] ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, “เชื้อเพลิงจากเศษไม้.”
- [6] C. Higman and M. Van Der Burt, “The Thermodynamics of Gasification,” *Gasification*, pp. 11–31, 2008.
- [7] ปรีนทร เต็มญารศิลป์, “Preparation and Characterization of Activated Carbon from *Dendrocalamus Asper Backer* and *Dendrocaramus Latiflorus*”, 2008.
- [8] ปริญญา อกาจนโรดม, *Microwave Heating and its Applications in Materials Processing*, no. 1. 2557.
- [9] STEM for Life, <http://stemforlife.ipst.ac.th/2016/01/05/activated-carbon/>
- [10] รศ.ดร. ธราพงษ์ วิฑิตศานต์, “ถ่านกัมมันต์ การผลิตและการนำไปใช้”, 2554
- [11] ASTM D4607- 94, “Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon 1,” *ASTM Int.*, vol. 94, no. Reapproved, pp. 1–5, 2006.
- [12] K. Yang, J. Peng, C. Srinivasakannan, L. Zhang, H. Xia, and X. Duan, “Preparation of high surface area activated carbon from coconut shells using microwave heating,” *Bioresour. Technol.*, vol. 101, no. 15, pp. 6163–6169, 2010.
- [13] D. Xin-Hui, C. Srinivasakannan, P. Jin-Hui, Z. Li-Bo, and Z. Zheng-Yong, “Preparation of activated carbon from *Jatropha hull* with microwave heating: Optimization using response surface methodology,” *Fuel Process. Technol.*, vol. 92, no. 3, pp. 394–400, 2011.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] H. Deng, L. Yang, G. Tao, and J. Dai, "Preparation and characterization of activated carbon from cotton stalk by microwave assisted chemical activation-Application in methylene blue adsorption from aqueous solution," *J. Hazard. Mater.*, vol. 166, no. 2–3, pp. 1514–1521, 2009.
- [15] M. J. Ahmed and S. K. Theydan, "Optimization of microwave preparation conditions for activated carbon from Albizia lebeck seed pods for methylene blue dye adsorption," *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, vol. 105, pp. 199–208, 2014.
- [16] S. Tatayanon, T. Piriyaoytha, T. Boonyaem, and C. Osot, "Feasibility Study on the Simple Production of Activated Carbon from Biomass," vol. 1.
- [17] S. Tatayanon, T. Piriyaoytha, T. Boonyaem, and C. Osot, "ACTIVATED CARBON PREPARATION FROM ACACIA MANGIUM : RANONG PROVINCE," vol. 1.
- [18] D. Kouotou, H. N. Manga, A. Baçaoui, A. Yaacoubi, and J. K. Mbadcam, "Optimization of Activated Carbons Prepared by H₃PO₄ and Steam Activation of Oil Palm Shells," vol. 2013, 2013.
- [19] T. Wang, S. Tan, and C. Liang, "Preparation and characterization of activated carbon from wood via microwave-induced ZnCl₂ activation," *Carbon N. Y.*, vol. 47, no. 7, pp. 1880–1883, 2009.
- [20] D. Xin-hui, C. Srinivasakannan, P. Jin-hui, Z. Li-bo, and Z. Zheng-yong, "Comparison of activated carbon prepared from Jatropha hull by conventional heating and microwave heating," *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, no. 9, pp. 3920–3926, 2011.
- [21] H. Deng, L. Yang, G. Tao, and J. Dai, "Preparation and characterization of activated carbon from cotton stalk by microwave assisted chemical activation-Application in methylene blue adsorption from aqueous solution," *J. Hazard. Mater.*, vol. 166, no. 2–3, pp. 1514–1521, 2009.

- [22] W. Li et al., "Preparation of activated carbon from coconut shell chars in pilot-scale microwave heating equipment at 60 kW," *Waste Manag.*, vol. 29, no. 2, pp. 756–760, 2009.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลจากการทดลอง

ค่าความเข้มข้นมาตรฐานของโซเดียมไธโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 0.1 นอร์มอล สามารถหาได้โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) 0.1 นอร์มอล 25 มิลลิลิตรและปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตพบว่าปริมาตรเฉลี่ยเท่ากับ 24.467 มิลลิลิตร

ตารางที่ ก.1 ปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต

ครั้งที่	KIO_3 (ml)	KI (g)	HCl (ml)	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (ml)
1	25	2.0004	5	24.40
2	25	2.0005	5	24.60
3	25	2.0003	5	24.40
ค่าเฉลี่ย	25	2.0004	5	24.47

ค่าความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน (I_2) สามารถหาได้โดยใช้สารละลายไอโอดีน (I_2) 0.1 นอร์มอล 25 มิลลิลิตรและปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตพบว่าปริมาตรเฉลี่ยเท่ากับ 22.833 มิลลิลิตร

ตารางที่ ก.2 ปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายไอโอดีน

ครั้งที่	I_2 (ml)	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (ml)
1	25	23.20
2	25	22.80
3	25	22.50
ค่าเฉลี่ย	25	22.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาค่าการดูดซับไอโอดีนของ ถ่านไม้ยางพาราที่ยังไม่ได้กระตุ้น

ครั้งที่	ถ่านไม้ยางพารา (g)	Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)
1	1.0049	34.40
2	1.0011	32.60
3	1.0020	31.80
ค่าเฉลี่ย	1.0027	32.93

ตารางที่ ก.4 ปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาค่าการดูดซับไอโอดีนของ ถ่านไม้ยางพาราที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 8 : 5 โดยใช้เวลา 15 นาที

ครั้งที่	ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้น 15 นาที (g)	Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)
1	1.00070	28.00
2	1.00080	28.10
ค่าเฉลี่ย	1.00075	28.05

ตารางที่ ก.5 ปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาค่าการดูดซับไอโอดีนของ ถ่านไม้ยางพาราที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 8 : 5 โดยใช้เวลา 30 นาที

ครั้งที่	ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้น 30 นาที (g)	Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)
1	1.00120	27.3
2	1.00310	26.5
ค่าเฉลี่ย	1.00215	26.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาค่าการดูดซับไอโอดีนของ ถ่านไม้ยางพาราที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 8 : 5 โดยใช้เวลา 60 นาที

ครั้งที่	ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้น 60 นาที (g)	Na ₂ S ₂ O ₃
1	1.00160	25.00
2	1.00630	25.10
ค่าเฉลี่ย	1.00395	25.05

ตารางที่ ก.7 ปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาค่าการดูดซับไอโอดีนของ ถ่านไม้ยางพาราที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 12 : 5 โดยใช้เวลา 15 นาที

ครั้งที่	ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้น 15 นาที (g)	Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)
1	1.0031	25.3
2	1.0027	25.1
ค่าเฉลี่ย	1.0029	25.2

ตารางที่ ก.8 ปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาค่าการดูดซับไอโอดีนของ ถ่านไม้ยางพาราที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 12 : 5 โดยใช้เวลา 30 นาที

ครั้งที่	ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้น 30 นาที (g)	Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)
1	1.0029	24.1
2	1.0011	23.8
ค่าเฉลี่ย	1.0020	23.95

ตารางที่ ก.9 ปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาค่าการดูดซับไอโอดีนของ ถ่านไม้ยางพาราที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 12 : 5 โดยใช้เวลา 60 นาที

ครั้งที่	ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้น 60 นาที (g)	Na ₂ S ₂ O ₃
1	1.00450	23.5
2	1.00240	23.3
ค่าเฉลี่ย	1.00345	23.4

ตารางที่ ก.10 ปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านไม้ยางพาราที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 16 : 5 โดยใช้เวลา 15 นาที

ครั้งที่	ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้น 15 นาที (g)	Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)
1	1.00130	24.80
2	1.00260	24.50
ค่าเฉลี่ย	1.00195	24.65

ตารางที่ ก.11 ปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านไม้ยางพาราที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 16 : 5 โดยใช้เวลา 30 นาที

ครั้งที่	ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้น 30 นาที (g)	Na ₂ S ₂ O ₃ (ml)
1	1.00440	22.50
2	1.00370	22.80
ค่าเฉลี่ย	1.00405	22.65

ตารางที่ ก.12 ปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการหาค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านไม้ยางพาราที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 16 : 5 โดยใช้เวลา 60 นาที

ครั้งที่	ถ่านกัมมันต์ที่กระตุ้น 60 นาที (g)	Na ₂ S ₂ O ₃
1	1.00120	22.0
2	1.00310	22.4
ค่าเฉลี่ย	1.00215	22.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณ

การคำนวณหาค่าความเข้มข้นมาตรฐานของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยแทนค่าจากตารางที่ ก.1 ในสมการที่ (8) ซึ่งจะได้ค่า N_1 เท่ากับ 0.1022 นอร์มอล

$$N_1 = \frac{P \times R}{S_1} = \frac{0.01 \times 25}{24.467} = 0.1022$$

การคำนวณหาค่าความเข้มข้นมาตรฐานของสารละลายสารละลายไอโอดีน โดยแทนค่าจากตารางที่ ก.2 ในสมการที่ (9) ซึ่งจะได้ค่า N_2 เท่ากับ 0.0933 นอร์มอล

$$N_2 = \frac{S_2 \times N_1}{I} = \frac{22.833 \times 0.1022}{25} = 0.0933$$

ตัวอย่างการคำนวณหาการดูดซับไอโอดีนของถ่านไม้ยางพาราที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 16 : 5 โดยใช้เวลา 60 นาที โดยเริ่มจากหาค่าค่าแฟคเตอร์การเจือจาง (DF) ค่า A และ ค่า B จากตารางที่ ก.7 ปริมาณเฉลี่ยของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการหาค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านไม้ยางพาราที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 16 : 5 โดยใช้เวลา 60 นาที มีค่าเท่ากับ 22.8 มิลลิลิตร ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ใช้โดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.00215 กรัม

$$DF = \frac{I + H}{F} = \frac{100 + 10}{50} = 2.2$$

$$A = N_2 \times 12693.0 = 1,184.565$$

$$B = N_1 \times 1269.3 = 12.9697$$

นำค่า A B S และ DF แทนค่า

$$\frac{X}{M} = \frac{A - (DF \times B \times S)}{M} = \frac{1184.565 - (2.2 \times 12.9697 \times 22.2)}{1.00215} = 549.9428$$

เพราะฉะนั้น ค่าการดูดซับไอโอดีนของถ่านไม้ยางพาราที่กระตุ้นด้วยอัตราส่วนน้ำต่อถ่าน (S/B) เท่ากับ 16 : 5 โดยใช้เวลา 60 นาที มีค่าเท่ากับ 549.94 มิลลิกรัมต่อกรัม